ANÁLISE DE PREDIÇÃO FEITA POR UM MODELO DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS COMBINADA COM UM MODELO EMPÍRICO DE PREVISÃO DE DEPÓSITO DE CORRIDAS DE MASSA, NAS BACIAS DOS RIOS QUITITE E PAPAGAIO (RJ)

Roberto Arnaldo Trancoso GOMES [1]
Renato Fontes GUIMARÃES [2]
Osmar Abílio de CARVALHO JÚNIOR [3]
Nelson Ferreira FERNANDES [4]

RESUMO

Os movimentos de massa são fenômenos naturais que ocorrem normalmente ao longo das encostas, principalmente após intensas chuvas. Ao longo da Serra do Mar, principalmente no verão, são comuns estes tipos de fenômenos causando diversos prejuízos financeiros (atingindo rodovias, oleodutos, pontes, entre outros) e também, perdas de vida. Dentre os movimentos de massa mais comuns destacam-se os escorregamentos e as corridas de massa produzidas, principalmente, após a ocorrência dos escorregamentos. A partir disso, o objetivo deste trabalho é propor uma metodologia que preveja a ocorrência dos escorregamentos e também, defina até onde as corridas de massas produzidas a partir destes escorregamentos poderão alcançar. Esta metodologia foi aplicada nas bacias dos rios Quitite e Papagaio, localizadas na vertente oeste do Maciço da Tijuca, no Rio de Janeiro. Esta escolha deve-se ao fato destas duas bacias terem sido atingidas, em Fevereiro de 1996 após intensas chuvas, causando diversos escorregamentos originarando corridas de massa que atingiram a região de baixada causando diversos prejuízos e perdas de vida. Além disso, nesta região foi possível fazer o mapeamento destes diversos escorregamentos e corridas de massa a partir de fotos aéreas, podendo-se deste modo comprovar a eficiência dos resultados. Paro o desenvolvimento deste trabalho foi aplicado o modelo SHALSTAB, que combina um modelo hidrológico com um modelo de estabilidade de encosta, para a previsão dos escorregamentos. Após a definição das áreas mais propícias a escorregamentos foi aplicado um modelo empírico para a definição do depósito das corridas, baseado nas seguintes condições: a) o depósito das corridas ocorrerá em áreas com declives menores de 3.5 graus e b) ângulos de junção entre elas maiores do que 70 graus e declividades entre 3,5 e 20 graus. Os resultados demonstram que o modelo de previsão de escorregamentos (SHALSTAB) obteve um alto grau de acerto, servindo como base para a definição do depósito das corridas. O modelo empírico conseguiu definir as áreas de deposição das corridas de modo rápido e eficaz, o que é essencial nesta análise, diferente dos modelos hidráulicos de simulação de corridas de massa, que pela suas complexidades exigem longo tempo de processamento.

INTRODUÇÃO

Os desastres naturais constituem hoje uns dos grandes problemas sócio-econômicos. Dentre eles, destaca-se os movimentos de massa que são fenômenos naturais que modelam o relevo e causam grandes danos à humanidade. De acordo com a ONU (1993),

[1] Universidade Federal do Rio de Janeiro – Depto de Geografia (PPGG), ratgomes@ig.com.br
[2] Universidade de Brasília – Depto de Geografia (LSIE), renatofg@unb.br
[3] Universidade de Brasília – Depto de Geografia (LSIE), osmarjr@unb.br
[4] Universidade Federal do Rio de Janeiro – Depto de Geografia (PPGG), nelsonff@acd.ufrj.br

estes fenômenos são uns dos que mais causam prejuízos financeiros e mortes em todo mundo.

Nas cidades estes assumem, em geral, proporções catastróficas, uma vez que são feitas diversas modificações na paisagem natural através de diferentes ações antrópicas, gerando novas relações com os fatores naturais para a detonação dos movimentos de massa (Brunsden & Prior, 1984; Silva Filho, 1992; Montgomery, 1994; Fernandes & Amaral, 1996; Larsen & Torres-Sánchez, 1998; Zerkal & Zerkal, 2004). As modificações das condições naturais da paisagem, sem um planejamento impactante, podem acabar favorencendo a ocorrência dos movimentos de massa. Deste modo, eventos de movimentos de massa podem não estar somente vinculados aos fatores naturais de um certo lugar. Estes podem estar também associados a fatores antrópicos, que acabam gerando novas relações com os naturais propiciando a detonação dos movimentos de massa, dificultando ainda mais a sua predição.

Os movimentos de massa são de diversos tipos e podem ser classificados de várias maneiras porque envolvem uma grande variedade de materiais, processos e fatores condicionanates (Fernandes e Amaral, 1996). De acordo com Selby (1993), as classificações seguem normalmente critérios de diferenciação: do tipo de material mobilizado, da velocidade e o mecanismo do movimento, do modo de deformação, a geometria da massa movimentada e, do conteúdo de água. Dentre as classificações mais reconhecidas no Brasil destacam-se as desenvolvidas por Guidicini & Nieble (1984) e pelo IPT (1991) que definem os movimentos de massa como: escoamentos (rastejos e corridas), escorregamentos (translacionais e rotacionais), subsidências e movimentos complexos. Neste trabalho será adotada este tipo de classificação.

Amaral (1996) e Borga et al., (1998) destacam que os escorregamentos translacionais e as corridas de massa são os movimentos de massa mais comuns na paisagem. Os escorregamentos translacionais são caracterizados por possuirem um plano de ruptura abrupto, bem definido, planar, e por ser um movimento de curta duração (Guidicini & Nieble, 1984; IPT, 1991). Estes movimentos são detonados durante chuvas intensas quando são pruduzidas uma poro-pressão elevada no contato entre o manto e a linha de impermeabilidade no solo e, consequentemente, diminuição do fator de segurança devido a saturação do solo. Estes escorregamentos acabam gerando corridas de massa devido, principalmente, a entrada de água (Borga et al. 1998).

As corridas de massa são caracterizadas por movimentos rápidos nos quais, os matériais se comportam como fluídos altamente viscosos (Guidicini & Nieble, 1984; IPT, 1991). Estes movimentos geram um expressivo volume de material mobilizado num relativo curto período de tempo, alcançando grandes distâncias, velocidade e alta capacidade de transporte, incluindo grandes rochas (Gramani & Augusto Filho, 2004).

Além disso, a distinção entre as corridas de massa e os escorregamentos nem sempre é fácil de ser feita. Isto está relacionado, muitas das vezes, ao ínicio da corrida ocorrer a partir de um escorregamento (Guidicini & Nieble, 1984; IPT, 1991; Selby,1993). Deste modo, torna-se essencial não apenas a predição dos escorregamentos, mas também, a previsão do depósito das corridas de massa pois estas, diferentemente dos escorregamentos, acabam por atingir lugares de baixo declive e, consequentemente, rotulados como de baixo risco a ocorrência de movimentos de massa.

A partir disso, o objetivo deste trabalho é propor uma metodologia que preveja a ocorrência dos escorregamentos e também, defina o depósito das corridas de massas produzidas a partir destes escorregamentos. Com isso, pretende-se obter resultados que possam subsidiar a implementação de medidas de prevenção e mitigação. Este tipo de mapeamento poderá ajudar também, num planejamento regional consistente auxiliando em planos de evacuação de áreas de alto risco.

MODELAGEM DE PREVISÃO

Uma variedade de metodologias têm sido desenvolvidas na análise de predição dos movimentos de massa, como: as baseadas em análise de inventários de cicatrizes e depósitos para delinear as áreas potenciais de perigo a ocorrência de movimentos de massa, em que, a sua distribuição no campo sugere futuros padrões de instabilidade no relevo (Wieczorek, 1984; DeGraff, 1985; Amaral, 1996; entre outros); as baseadas em análises estatísticas de correlação entre certos atributos morfológicos e de uso do solo em áreas deslizadas (Carrara, 1983; Carrara et al., 1991; Gao, 1993; Larsen & Torres-Sánchez, 1998; Gorsevski et al., 2000; entre outros); as metodologias que confeccionam mapas de risco a partir da combinação de diversos tipos de planos de informação (por exemplo, geologia, vegetação, uso do solo, declividade) em que, são dados "pesos" e/ou "notas" para cada atributo (plano de informação), identificando o seu grau de importância para o deslizamento (Seeley & West, 1990; Xavier da Silva et al., 1996; Moreira, 1999; entre outros); e, as metodologias baseadas em métodos determinísticos que levam em consideração a geomoetria da encosta para determinar a razão de estabilidade da encosta, através de procedimentos que utilizam a modelagem matemática a partir de processos e leis físicas naturais (Montgomery et al., 1991; Dietrich et al., 1992; Montgomery & Dietrich, 1994; Wu & Sidle, 1995; Pack et al., 1998; Iverson, 2000).

Para se entender os processos controladores dos movimentos de massa e designar apropriadamente estratégias de uso do solo, torna-se necessário avaliar a estabilidade das encostas e definir o depósito das corridas de massa. Desta forma, a utilização de modelos matemáticos integrados a um Sistema de Informação Geográfico (SIG) torna-se essencial, uma vez que o SIG possibilita trabalhar as variáveis espacialmente e em diferentes escalas, ou seja, em vez de se trabalhar em uma só encosta, pode-se trabalhar em diversas encostas ao mesmo tempo, tratando os resultados de forma espacializada e integrando as várias células que constituem a área estudada (Wu & Sidle, 1995; Christofoletti, 1999).

Como os movimentos de massa do tipo corridas de massa, na grande maioria das vezes, começa a partir da ocorrência de um escorregamento, inicialmente será destacado a modelagem de previsão de escorregamentos para a posterior modelagem de definição de depósito das corridas de massa.

As metodologias para previsão de escorregamentos através de modelos matemáticos integrados ao SIG utilizam-se de modelos numéricos que retém a essência dos controles físicos da topografia, das propriedades do solo e dos fatores detonadores (van Asch et al., 1993). Estes modelos baseiam-se em muito na superfície topográfica que é o controle primário na iniciação dos escorregamentos. Estes modelos utilizam a escala de bacia e têm sido desenvolvidos sobre bases da equação de talude infinito (Okimura & Ichikawa, 1985; Dietrich et al., 1992; Montgomery & Dietrich, 1994; Wu & Sidle, 1995; Pack et al., 1998; Iverson, 2000).

Montgomery & Dietrich (1994) desenvolveram um modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos, baseado no modelo digital de terreno (MDT), em que acopla um modelo hidrológico com um modelo de estabilidade de encosta. Este modelo, posteriormente, foi automatizado por Dietrich & Montgomery (1998), e designado como SHALSTAB (Shallow Stability) e, vem apresentado resultados muito bons tanto em regiões de clima temperado, como tropical (Montgomery & Dietrich, 1994; Borga et al., 1998; Dietrich & Montgomery, 1998; Rafaelli et al., 2001; Ramos et al., 2002; Guimarães et al., 2003; Gomes et al., 2004; Redivo et al., 2004; Gomes et al., 2005).

O modelo de estabilidade de encosta é baseado na teoria do talude infinito, proveniente de Mohr-Coulomb, que define a tensão tangencial no momento da ruptura (Carson & Kirkby, 1972). Análises de talude infinito têm sido amplamente aplicados em investigações de estabilidade de encosta, particularmente onde a espessura do manto do solo é muito menor do que o comprimento da encosta e, onde o plano de ruptura é aproximadamente paralelo a superfície da encosta (Dietrich et al., 1992; Montgomery & Dietrich, 1994; Wu & Sidle, 1995;

Pack et al., 1998; Iverson, 2000). Os efeitos causados pelo atrito nas laterais e nas extremidades de um bloco do solo são aqui ignorados, uma vez que os escorregamentos translacionais são típicos de locais onde o comprimento da cicatriz é muito maior do que a espessura do solo. Esta análise é considerada em relação a um plano infinito do solo sobre um plano inclinado através de um contato abrupto, levando em consideração as tensões tangencial e normal.

O modelo hidrológico está baseado no modelo desenvolvido por O'Loughlin (1986) para estimar o nível de umidade do solo no relevo a partir, dos fluxos a montante do ponto considerado, do ângulo da encosta e da transmissividade do solo. O modelo considera que o fluxo infiltra até um plano de mais baixa condutividade, seguindo posteriormente um caminho determinado pela topografia. A suposição do fluxo paralelo a encosta é adotado devido ao desenvolvimento das rupturas translacionais rasas sobrepostas ao contato solo-rocha (Reid & Iverson, 1992; Dietrich & Montgomery, 1998). Desvios a partir do fluxo paralelo a encosta podem ocorrer, especialmente em solos profundos, e o vetor de fluxo pode afetar os cálculos da tensão cisalhante (O´Loughlin, 1986; Iverson & Major, 1987, Dietrich et al., 1992).

De acordo com Montgomery & Dietrich (1994), tanto o modelo hidrológico quanto o modelo de estabilidade podem ser desenvolvidos em função da razão da altura da água pela espessura do solo, para que seja possível a combinação entre os modelos. Deste modo, a combinação destes dois modelos resulta numa equação que define a razão da quantidade de chuva pela transmisssividade do solo determinando o grau de susceptibilidade a escorregamentos de uma área, conforme pode ser visto na equação 1:

$$\frac{Q}{T} = \frac{sen\,\theta}{(a/b)}\left(\left(\frac{C'}{\rho_w.g.z.cos^2\theta.tan\phi}\right)+\left(\frac{\rho_s}{\rho_w}\right)\left(1-\frac{tan\theta}{tan\phi}\right)\right) \quad \textbf{(1)}$$

onde: Q é a chuva, T é a transmissividade do solo, θ é a declividade, a/b é a área de contribuição, C´ é a coesão do solo, ϕ é o ângulo de atrito, ρ_s é o peso específico do solo, g é a aceleração da gravidade, z é a espessura vertical do solo e, ρ_w é o peso específico da água.

Entretanto, este modelo poderá ser simplificado de forma que não leve em consideração a coesão do solo (C´) resultando na equação 2, o que de acordo com Guimarães et al. (2003) este tipo de modelo, mesmo sendo mais simples, apresenta um excelente desempenho, o que permite eliminar parâmetros como, a coesão (C') e a espessura vertical (z), difíceis de serem determinados no campo.

$$\frac{Q}{T} = \frac{sen\,\theta}{(a/b)}\left(\left(\frac{\rho_s}{\rho_w}\right)\left(1-\frac{tan\theta}{tan\phi}\right)\right) \quad \textbf{(2)}$$

A modelagem de previsão de depósito das corridas de massa pode ser dividida em dois tipos de metodologias: a) baseadas em modelos hidráulicos e; b) desenvolvidas a partir de modelos empíricos.

A modelagem hidráulica tenta simular as corridas de massa para definir seus depósitos. O´Brien & Julien (2000) desenvolveram um modelo que simula a corrida de massa numa certa bacia de drenagem. Entretanto, este tipo de modelagem requer um grande detalhamento topográfico da área e também a determinação de parâmetros relacionados as propriedades do material fluído. Essa metodologia, por sua complexidade, exige a elaboração de um grande levantamento de dados e, além disso, por trabalhar em alta resolução diminui a rapidez de processamento para obtenção dos resultados.

Já a modelagem empírica requer poucos parâmetros iniciais e tempo reduzido para determinar o depósito das corridas. Alguns trabalhos têm sido desenvolvidos em

modelagem empírica para a predição dos depósitos das corridas de massa (Hungr et al., 1984; Benda & Cundy, 1990; Iverson et al., 1998). Este tipo de modelagem analisa a dinâmica do material transportado a partir dos parâmetros morfométricos.

Desta forma, a importância dos hollows na iniciação de corridas de massa tem sido notada por diversos autores (Dietrich & Dunne, 1978; Reneau & Dietrich, 1987). Muitos desses hollows tem declividades médias de 45 graus que são áreas preferenciais a ocorrência de movimentos de massa (Benda & Dunne, 1987). De acordo com Benda & Cundy (1990), a deposição das corridas de detritos usualmente ocorrem em canais onde a inclinação do relevo diminui gradualmente, ou onde o fluxo abruptamente entra num canal com um gradiente menor. O segundo fator topográfico que afeta a deposição é o ângulo de junção entre os canais tributários. Isto demonstra a importância do papel topográfico da paisagem no desenvolviemtno da corrida.

A partir disso, Benda & Cundy (1990) desenvolveram uma metodologia para determinar o depósito das corridas de massa através da análise dos parâmetros do relevo (declividade e ângulo de junção dos tributários). Incialmente, estes autores definem que todas as áreas maiores de 20^0 de declividades não ocorre deposição. A deposição das corridas só ocorrerá em áreas que : a) o depósito das corridas ocorrerá em áreas com declives menores de 3.5 graus e b) ângulos de junção entre elas maiores do que 70 graus e declividades entre 3,5 e 20 graus. De acordo com os autores, este modelo é de fácil implementação obtendo resultados bastante satisfatórios para uma análise regional de risco.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na vertente oeste do Maciço da Tijuca, englobando as bacias dos rios Quitite e Papagaio, no bairro de Jacarepaguá, na cidade do Rio de Janeiro abrangendo uma área em torno de 5 km2 (Figura 1). Em 1996, esta área foi atingida por intensas chuvas que acabaram deflagrando diversos escorregamentos e, posteriores corridas de massa que atingiram a região da baixada de Jacarepaguá, que era considerada como uma região de baixo risco, conforme o mapa de risco feito pelo GEORIO (1991).

Com relação ao clima, esta área funciona como uma barreira orográfica às chuvas, o que faz com que esta receba um índice maior de pluviosidade, sendo classificado como um clima Sub-Equatorial definido como Hipo-Térmico (Vieira et al., 1997). De acordo com a GEORIO (1996), a quantidade de chuva que atingiu esta área quando dos movimentos de massa de 1996 foi da ordem 250mm/48horas, entre os dias 12 e 13 de fevereiro.

A pedologia da área caracteriza-se por um predomínio de solos litólicos na porção superior e de Cambissolos e Latossolos nas porções média e inferior das bacias (Vieira et al., 1997). A área possui diferentes unidades geológicas como Kinzigito, Biotita Gnaisse, Biotita Granito, Quartzo Diorito e o Gnaisse Archer, o qual tem a maior predominância na área (GEORIO, 1996).

Com relação a geomorfologia ocorre uma forte simetria na porção superior das duas bacias. Entretanto, na porção mais a jusante (porção média) inicia-se uma diferenciação entre as bacias em que, na bacia do rio Quitite ainda encontra-se um vale bem encaixado com forte simetria entre suas vertentes, mas no rio Papagaio há um aumento da densidade de drenagem fazendo com que o vale se torna assimétrico. Já na porção inferior o relevo encontra-se mais suave ocorrendo à confluência entre os rios. O relevo tem uma variação altimétrica entre 20 a 1000 metros.

Com relação ao uso e ocupação do solo, pode-se verificar a presença de mata preservada nas porções superiores das bacias. Na porção média da bacia do rio Quitite existe atividade de pastoreio e mineração (que após os eventos de massa foi desativada) enquanto, na bacia do rio Papagaio são encontrados pequenos sítios com atividades agrícolas. Em relevo

mais suave, as bacias apresentam elementos antrópicos como casas e ruas construídas sobre depósitos de corridas de massa pretéritas.

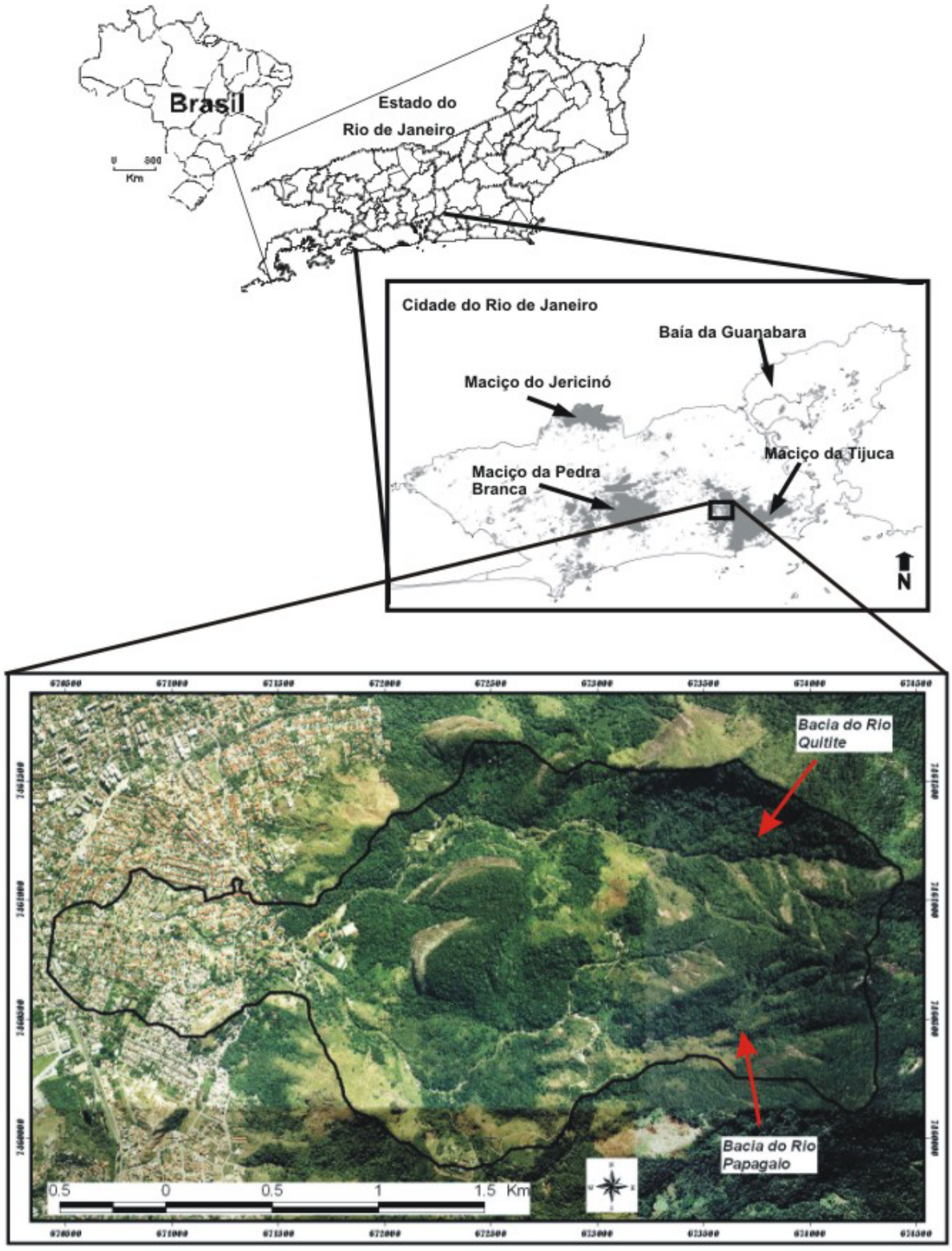


Figura 1. Localização da área das bacias estudadas na vertente oeste do Maciço da Tijuca (RJ).

MÉTODOS e TÉCNICAS

Para o desenvolvimento do trabalho a metodologia foi dividida em duas partes: a modelagem de previsão das áreas susceptíveis a escorregamentos e posteriormente, a

modelagem do depósito das corridas de massa. Para as duas etapas do trabalho foi necessário a construção de um modelo digital de terreno da bacia estudada.

Este MDT (Figura 2) foi gerado a partir da topografia (curvas de nível e pontos cotados) e hidrografia da área de estudo. Este base foi feita para uma escala de 1:10.000, a partir da restituição das fotos aéreas tiradas em Abril de 1996 (na escala de 1:20.000). Além da restituição da topografia e hidrografia da região, foi feito também o mapeamento das cicatrizes dos escorregamentos para posterior validação do modelo de predição de escorregamentos.

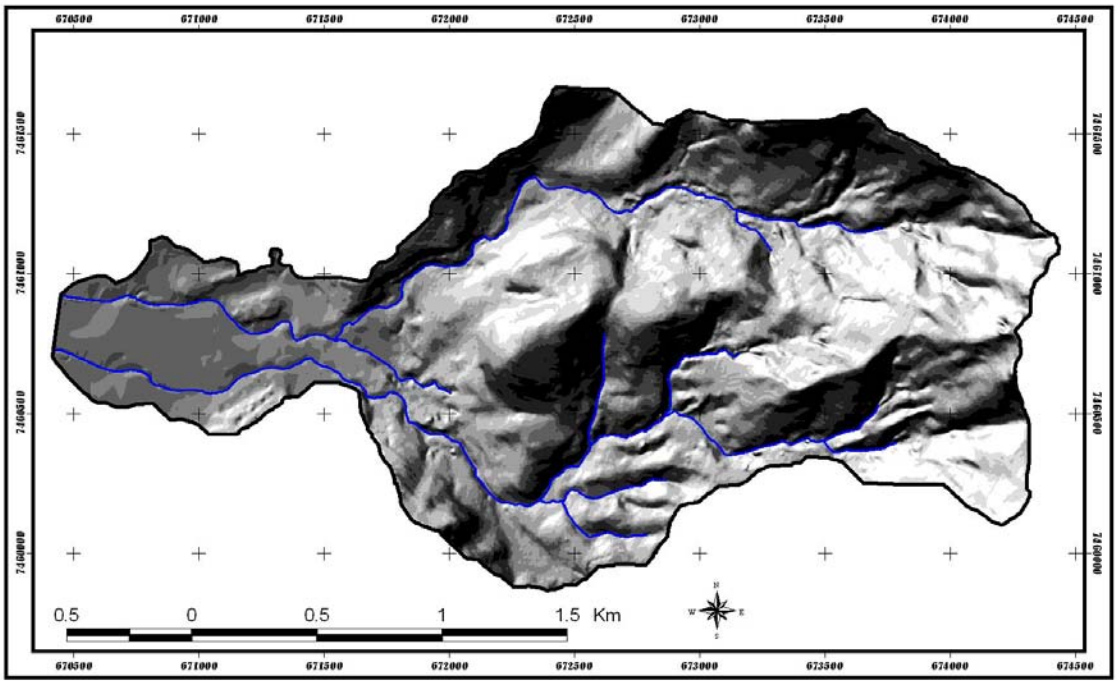


Figura 2. Modelo digital de terreno da área de estudo com resolução de 2 metros.

Para a geração do mapa de susceptibilidade a escorregamentos é necessário a obtenção dos parâmetros geomorfológicos (declividade e área de contribuição), obtidos diretamento do MDT e, dos parâmetros de propriedades do solo (ângulo de atrito e peso específico do solo) (Figura 3). Neste trabalho não será necessário obter os parâmetros de coesão e espessura do solo pois, adotou-se o modelo de susceptibilidade de forma simples, como destacado anteriormente.

Os valores dos parâmetros de ângulo de atrito e peso específico do solo foram adotados como constantes para toda a bacia e foram retirados de trabalhos preexistentes em regiões com características semelhantes. Desta forma, foram utilizados osvalores de 45^0 para o ângulo de atrito e de 2,0 g/cm^3 para o peso específico do solo (Costa Nunes, 1969; DePloey & Cruz, 1979).

Para a definição do depósito das corridas de massa, inicialmente, foi determinado qual o pixel de maior instabilidade em cada cicatriz. Este ponto será adotado como o começo da corrida de massa. A partir desta identificação, determina-se o caminho a ser percorrido pela corrida através de parâmetros da direção de fluxo e fluxo acumulado, que são gerados a partir do MDT.

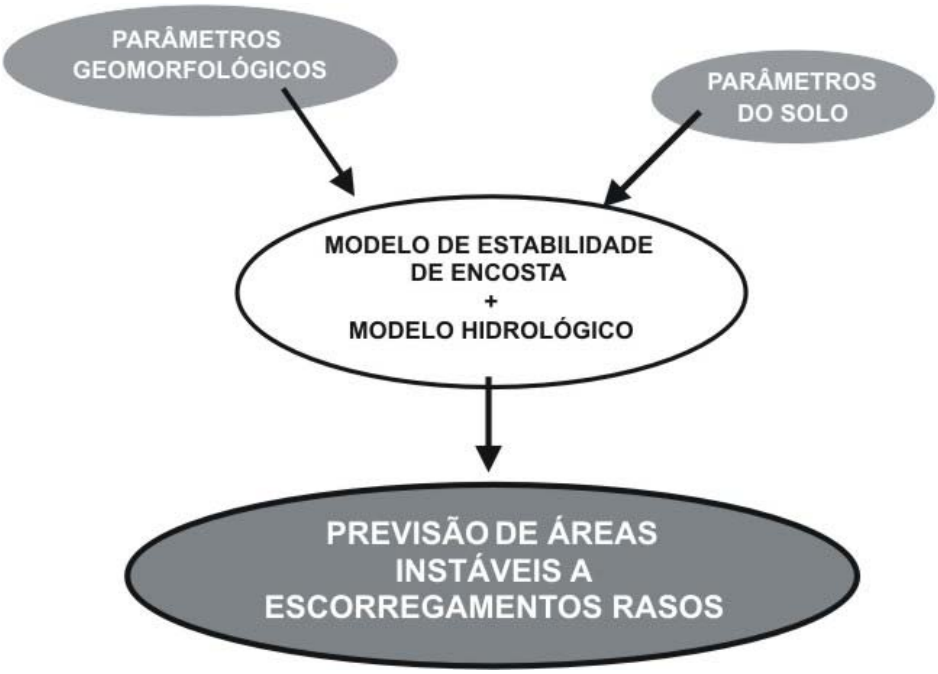


Figura 3. Fluxograma de funcionamento do modelo SHALSTAB (Fonte: Guimarães, 2000).

Definido os lugares a serem precorridos pelas corridas é identificado quais as regiões que tem declives maiores do que $3,5^0$ e menores do que 20^0, ao longo das corridas. Nestas regiões, identifica-se qual o ângulo formado no encontro entre duas corridas no qual, se for maior do que 70^0 ocorrerá deposição. Além disso, todas as áreas que tiverem declives menores do que $3,5^0$ também ocorrerá deposição. Esta metodologia pode ser visualizada no fluxograma da figura 4.

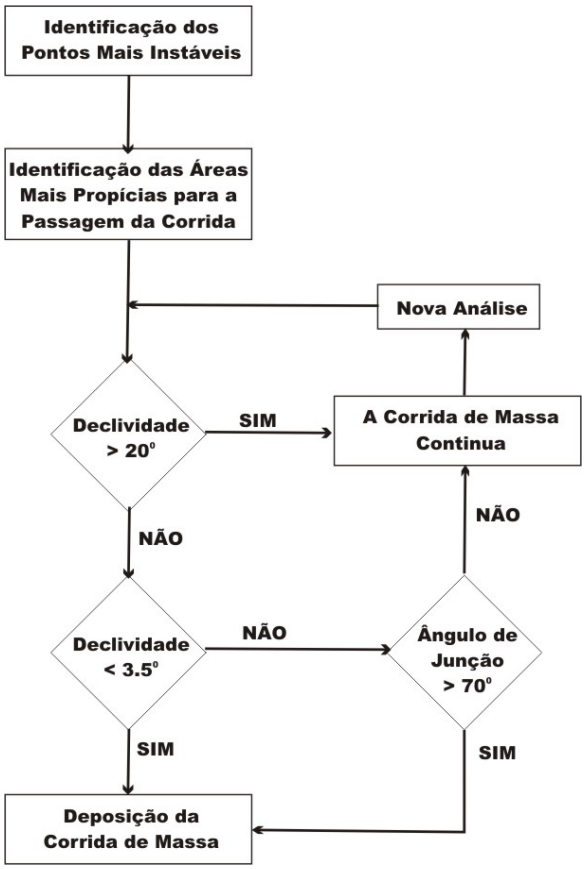
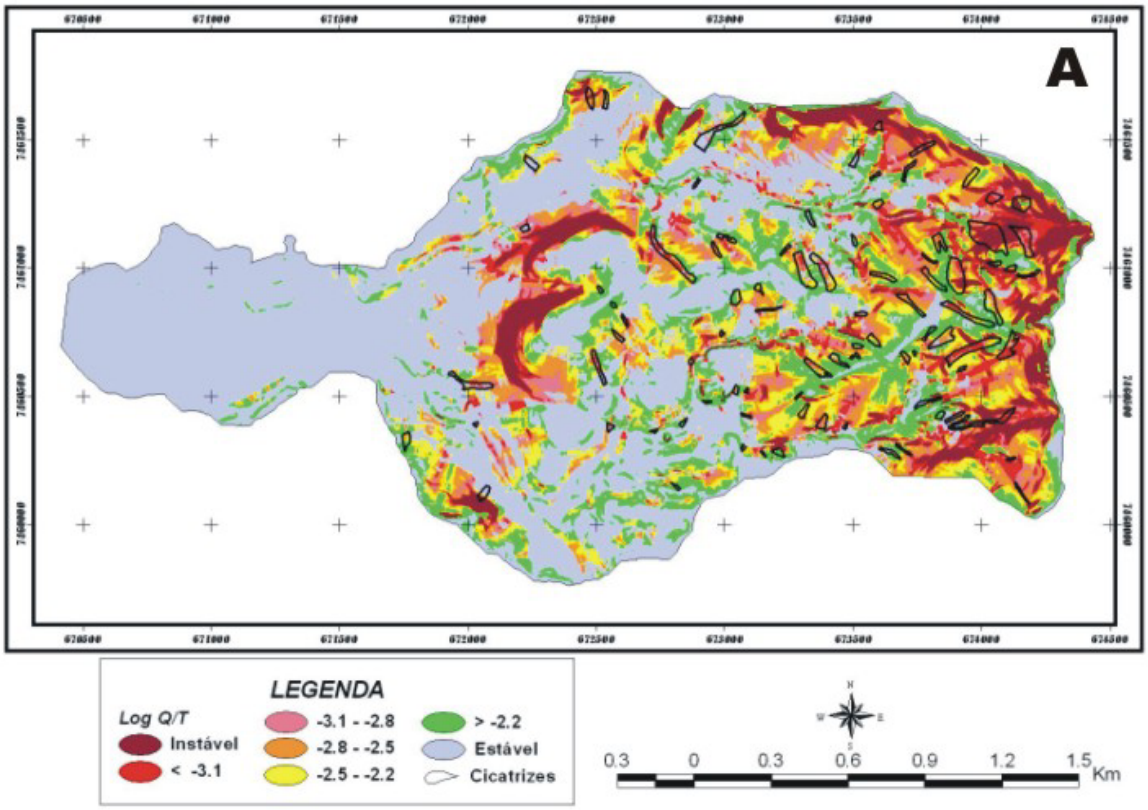


Figura 4. Fluxograma de funcionamento da modelagem de deposição das corridas de massa (Adaptado de Benda & Cundy, 1990).

RESULTADOS

Os resultados demosntram que a previsão das áreas susceptíveis obteve um excelente grau de acerto, tendo somente 2 escorregamentos dos 89 mapeados localizados na classe considerada classe Estável (Figura 5).



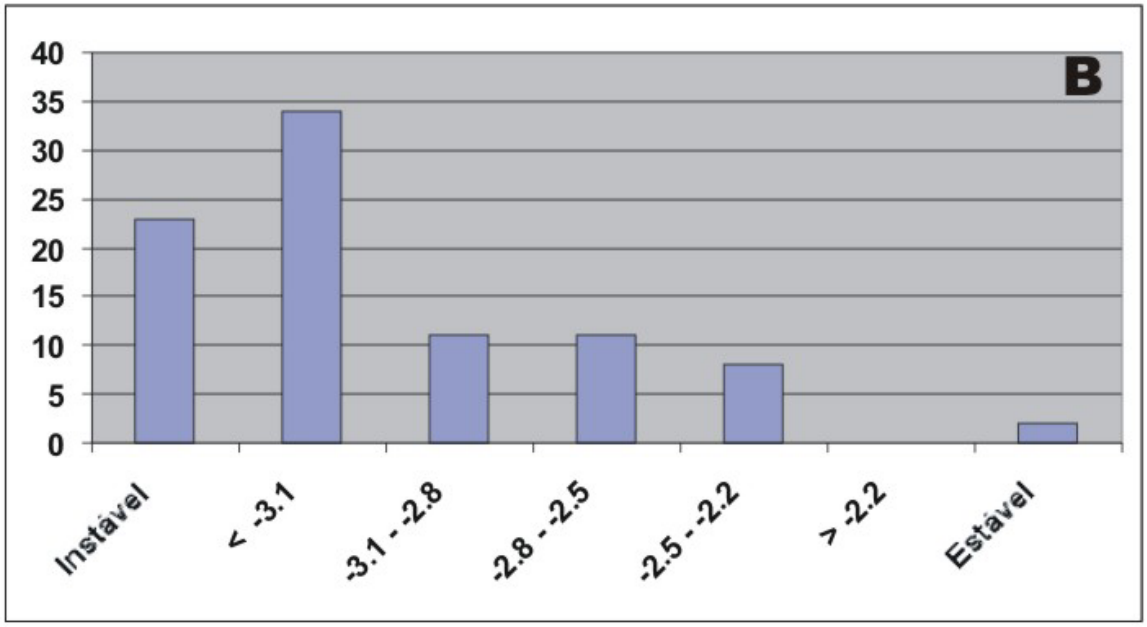


Figura 5. Mapa de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos (A) e gráfico de análise do acerto do resultado do modelo de previsão (B).

O resultado do modelo SHALSTAB possibilitou identificar os pontos de maior instabilidade de cada cicatriz. O resultado demonstra que a modelagem conseguiu identificar quais as

regiões mais propensas a passagem das corridas de massa, de forma rápida e eficaz (Figura 6). Entretanto, nota-se que algumas áreas da baixada que não têm declives menores do que $3,5^0$ não foram mapeadas e podem estar numa região onde a corrida tem passado. Isto ocorre, por este tipo de metodologia não considerar a espessura no material mobilizado, que dependendo da quantidade poderá atingir certas regiões não mapeadas pela modelagem empírica.

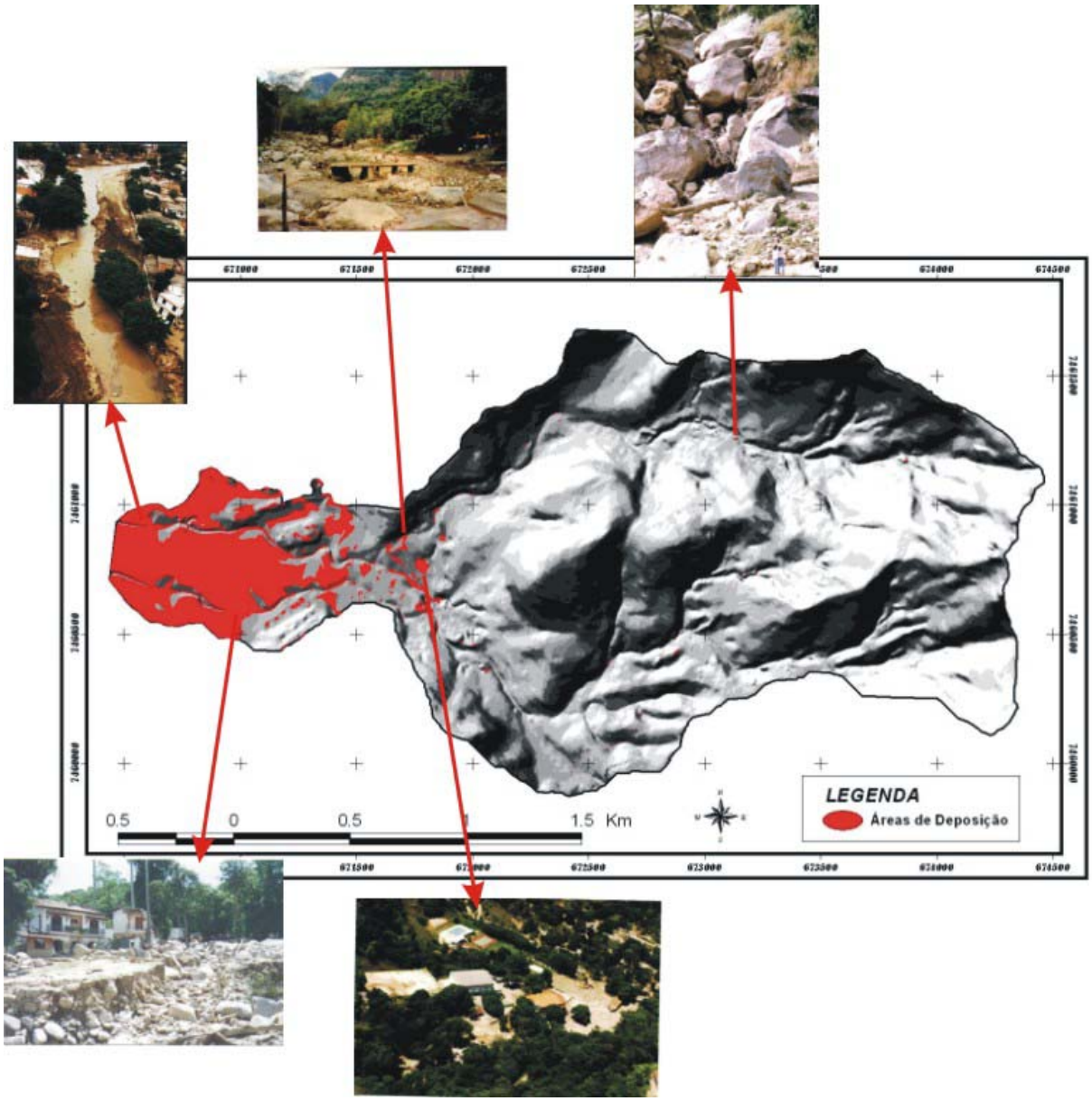


Figura 6. Mapa das áreas de possível deposição das corridas de massa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises feitas permitiu observar o bom comportamento (acerto) do modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregametnos, como também, de forma rápida e eficaz a modelagem do depósito das corridas de massa.

Verificou-se que o modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos, mesmo na sua forma simples, obteve resultados muito bons. Demonstrando que, a modelagem matemática integrada num ambiente SIG, possui um grande potencial na previsão dos escorregamentos.

Devido a esse bom acerto do modelo de previsão de escorregamentos, foi possível identificar com precisão o começo das corridas de massa nas bacias dos rios Quitite e Papagaio O que possibilitou simular os caminhos percorridos pelas corridas. Esta simulação permitiu definir os locais em que ocorreram os depósitos a partir das condições topográficas da região modelada que coincidiram com os depósitos oriundos das corridas de massa ocorridas em 1996.

O modelo de predição de iniciação de corridas de detritos (modelagem de escorregamentos) acoplado ao modelo de predição dos depósitos (modelagem das corridas), permitem definir na paisagem: as zonas susceptíveis a ocorrência de escorregamentos, o caminhamento das corridas e os locais de depósito, sendo que muitas metodologias não consideram áreas de risco àquelas que estão localizadas nas áreas de baixadas que normalmente ocorrem a deposição do material transportado. Desta forma, com esta metodologia se obtém um mapeamento completo considerando causa e efeito dos fenômenos estudados, aumentando a acurácia para a realização de um planejamento do uso e ocupação do solo.

REFERÊNCIAS

AMARAL, C. P. D. **Escorregamentos no Rio de Janeiro: Inventário, Condicionantes e Redução do Risco**. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996. 262p.

BENDA, L. E.; CUNDY, T. W. Predicting deposition of debris-flows in mountain channels. **Canadian Geotechnical Journal,** Canadian, v.27, p.409– 417, 1990.

BENDA, L. E.; DUNNE, T. Sediment routing by debris flow. **International Association for Hydrological Sciences Publication,** v.165, p.213-223, 1987.

BORGA, M.; DALLA FONTANA, G.; DA ROS, D.; MARCHI, L. Shallow landslide hazard assessment using a physically based model and digital elevation data. **Environmental Geology**, v.35, n.2–3, p.81–88, 1998.

BRUNSDEN, D.; PRIOR, D. B.**Slope instability**. John Wiley, Chichester, 1984.

CARRARA, A. A Multivariate Model for Landslide Hazard Evaluation. **Mathematical Geology**, v.15, n.3, p.403-426, 1983.

CARRARA, A. C. M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V.; REICHENBACH, P. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.16, n.5, p.427-445, 1991.

CARSON, M. A.; KIRKBY, M. J**. Hillslope form and process**. Cambridge University Press, Cambridge, 1972. 475p.

CHRISTOFOLETI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. Ed. Edgard Blücher Ltda, 1a ed., São Paulo, 1999. 236p.

COSTA NUNES, A. J. Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms. IN: VII International Conference on Soil Mechanics. and Foundation Engineering., Mexico. **Anais...** México, 1969. p.547-554.

DE PLOEY, J.; CRUZ, O. Landslides in the Serra do Mar, Brazil**. Catena**, v.6, p.111-122, 1979.

DeGRAFF, J. V. Using isopleth maps of landslide deposits as a tool in timber sale planning. **Bulletin Association Engeneering Geology**, EUA, v.38, p.61–71, 1985.

DIETRICH, W. E.; MONTGOMERY, D. R. SHALSTAB: A Digital Terrain Model for Mapping Shallow Landslide Potencial. NCASI (National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement), Technical Report, 29p. 1998.

DIETRICH, W. E.; WILSON, C. J.; MONTGOMERY, D. R.; McKEAN, J. Analysis of erosion thresholds, channel networks and landscape morphology using a digital terrain model. **The Journal of Geology**, EUA, v.101, p.259-278, 1993.

DIETRICH, W.E.; DUNNE, T. Sediment budget for a small catchment in mountainous terrain. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, Germany, v.29, p.191– 206, 1978.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia e meio ambiente**, Rio de Janeiro, Ed. Bertrand, 1996, p.123-194.

GAO, J. Identification of topographic settings conducive to landsliding from DEM in Nelson County, Virginia, U.S.A. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.18, p.579-591, 1993.

GEORIO Estudos Geológicos-Geotécnicos a Montante dos Condomínios Capim Melado e Vilarejo, Jacarepaguá. Relatório Técnico, Rio de Janeiro, 96p. 1996.

GEORIO Mapa Indicativo do Risco de Escorregamentos no Município do Rio de Janeiro, 1991. (CD-ROM).

GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; FERNANDES, N. F. Análise da influência da escala cartográfica no resultado de um modelo de previsão de áreas críticas a deslizamentos. **Revista Ciência e Natura**, Rio Grande do Sul (Brasil), Edição Especial, p.269-286, 2004.

GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; FERNANDES, N. F. Análise de um modelo de previsão de deslizamentos (shalstab) em diferentes escalas cartográficas. **Revista Solos e Rocha**, São Paulo (Brasil), v.28, n.1, p.85-97, 2005.

GORSEVSKI. P. V.; GESSLER, P.; FOLTZ, R. B. Spatial prediction of landslide hazard using logistic regression and GIS. IN: 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4): Problems, Prospects and Research, Canadian. **Anais...**, Canadian. 2000. (CD-ROM).
GRAMANI, M.; AUGUSTO FILHO, O. Analysis of the triggering of debris flow potentiality and the run-out reach estimative: an application essay in the Serra do Mar mountain range. IN: Ninth International Symposium on Landslides, Rio de Janeiro, Brasil. **Anais...**, London, v.1, 1477-1483, 2004.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1984. 142p.

GUIMARÃES, R. F. **A Modelagem matemática na avaliação de áreas de risco a deslizamentos: o exemplo das bacias dos rios Quitite e Papagaio (RJ)**. Tese de Doutorado, Depto. de Geologia. UFRJ, Rio de Janeiro, 2000. 157p.

GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. M.; FERNANDES, N. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro. **Engineering Geology**, v.69, n.1-2, p.99-108, 2003.

HUNGR, O.; MORGAN, G. C.; KELLERHALLS, R. Quantitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures. **Canadian Geotechnical Journal,** Canadian, v.21, p.663-677, 1984.

IPT Ocupação de Encostas. Publicação IPT n0 1831, 216p. 1991.

IVERSON, R. M. Landslide triggering by rain infiltration. **Water Resources Research**, EUA, v.36, n.7, p.1897-1910, 2000.

IVERSON, R. M; MAJOR, J. J. Rainfall, ground water flow, and seasonal movement at Minor Creek landslide, northwestern California: physical interpretation of empirical relations. **Geological Society American Bulletin**, EUA, v.99, p.579–594, 1987.

IVERSON,R. M.;SCHILLING,S. P.; VALLANCE,J. W. Objective delineation of lahar-inundation hazard zones. . **Geological Society American Bulletin**, v.110, p.972-984, 1998.

LARSEN, M. C.;TORRES-SANCHEZ, A. J. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. **Geomorphology**, v.24, p.309-331, 1998.

MONTGOMERY, D. R. Road surface drainage, channel initiation, and slope stability. **Water Resources Research**, v.30, n.6, p.1925-1932, 1994.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research**, v.30, p.1153-1171, 1994.

MONTGOMERY, D. R.; WRIGHT, R.H.; BOOTH, T. Debris flow hazard mitigation for colluvium-filled swales. **Bulletin Association Engeneering Geology**, EUA, v.28, p.303–323, 1991.

MOREIRA, I. C. **Avaliação das áreas de risco ambientais urbanos do Vale do Quitite - Jacarepaguá- RJ.** Monografia, Depto. de Geociências, UFRRJ, Rio de Janeiro, 1999, 49p.

O´BRIEN, J. S. & JULIEN, P. Y. Flo-2D. Users Manual. Flo-Engineering, Version 2000.01, Nutrioso, Arizona (EUA), 170p. 2000.

OKIMURA, T.; ICHIKAWA, R. A prediction method for surface failures by movements of infiltrated water in a surface soil layer. **Natural Disaster Science**, EUA, v.7, p.41–51, 1985.

O'LOUGHLIN, E. M. Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. **Water Resources Research**, v.22, p.794-804, 1986.

ONU. Working Party on World Landslide Inventory. Bulletin of the IAEG, n.41, p.5-12. 1993.

PACK, R. T.; TARBOTON, D. G.; GOODWIN, C. N. Terrain Stability Mapping with SINMAP, technical description and users guide for version 1.00. Report Number 4114-0, Terratech Consulting Ltd., Salmon Arm, B.C., Canada, 1998.

RAFAELLI, S. G.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. M. A Comparison of Thematic Mapping of Erosional Intensity to GIS-Driven Process Models in an Andean Drainage Basin. **Journal of Hydrology**, v.244, n.1-2, p.33-42, 2001.

RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; REDIVO, A. L.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Aplicação do Modelo SHALSTAB, em Ambiente Arcview, para o Mapeamento de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos Raso na Região do Quadrilátero Ferrífero - MG. **Revista Espaço & Geografia**, Brasília (Brasil), v.5, n.1, p.49-67, 2002.

REDIVO, A. L.; RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T. Determinação de áreas susceptíveis a escorregamentos na BR 356 no município de Ouro Preto – MG. **Revista Ciência e Natura**, Rio Grande do Sul (Brasil), Edição Especial, p.31-45, 2004.

REID, M. E.; IVERSON, R. M. Gravity-driven groundwater flow and slope failure potential, effects of slope morphology, material properties, and hydraulic heterogeneity. **Water Resources Research,** v.28, p.939–950, 1992.

RENEAU, S.L.; DIETRICH, W.E. The importance of hollows in debris-flow studies; examples from Marin County, California. In: COSTA, J. E., WIECZOREK, G. F. (Org). **Debris-flows/Avalanches: Process, recognition, and mitigation**. **Reviews in Engineering Geology.** Geological Society of America, Boulder, vol. 7, 1987, p.165– 180.

SEELEY, M.; WEST, D. O. Approach to geologic harzard zoning for regional planning, Inyo, National Forest, California and Nevada. **Bulletin of the Association of Engineering and Geologists**, v. 27, p.23-35, 1990.

SELBY, M. J. **Hillslope materials & processes**. Oxford University Press, New York, 1993. 450p.

SILVA FILHO, E. P. **Movimentos de massa na vertente sul florestada do Maciço da Tijuca: Casos de Fevereirio/1988 nas Estradas Dona Castorina e Vista Chinesa.** Tese de Mestrado, Departamento de Geografia (UFRJ), Rio de Janeiro, 1992. 227p.

VAN ASCH, T.; KUIPERS, B.; VAN DER ZANDEN, D. J. An information system for large scale quantitative hazard analyses of landslide. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Germany, v.87, p.133–140, 1993.

VIEIRA, B. C.; VIEIRA, A. C. F.; FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Estudo comparativo dos movimentos de massa ocorridos em fevereiro de 1996 nas bacias do Quitite e Papagaio (RJ): Uma abordagem geomorfológica. IN: II Pan-American Symposium on Landslides/II Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro, Brasil. **Anais...**, Rio de Janeiro, v.1, 1997, p.165-174.

WIECZOREK, G. F. Preparing a detailed landslide-inventory map for hazard evaluation and reduction. **Bulletin Association of Engineering Geologists**, v.21, n.3, p.337-342, 1984.

WU, W.; SIDLE, R. C. A distributed slope stability model for steep forested basins. **Water Resources Research**, v.31, n.8, p.2097-2110, 1995.

XAVIER DA SILVA, J.; GOES, M. H. B.; FERREIRA, A. L.; BERGAMO, R. B. A. A.; IERVOLINO, P.; ROCHA, E. N.; PACHECO, E. A.; SILVEIRA, R. S.; MACHADO, R. D.; COSTA, W. P. Estimativa de riscos de deslizamentos/desmoronamentos no Maciço do Tinguá e Arredores. IN: XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Bahia. **Anais..., ** Salvador, Bahia, v.4, 1996, p.273-276.

ZERKAL, S. V.; ZERKAL, O. V. Simulation flow landslides by particle method. IN: Ninth International Symposium on Landslides, Rio de Janeiro, Brasil. **Anais...**, London, v.1, 1427-1432, 2004.